

## SIMULATOR VODEĆIH 3G TEHNOLOGIJA NA NIVOU RADIO-INTERFEJSA

Vladica Kovačević, VP 4233-2, Beograd  
Dušan Radović, ELSYS Eastern Europe, Vladimira Popovića 6, Beograd

**Sadržaj** –U radu je opisan simulator uplink veze treće generacije ćelijskih radio sistema na nivou radio interfejsa. Izložene su suštinske razlike između tri vodeće tehnologije treće generacije na nivou fizičkog sloja ( modulacija i širenje signala). Dati su rezultati poređenja ovih tehnologija za scenario uplink veze u jednoj ćeliji.

### 1. UVOD

Cilj treće generacije mobilnih komunikacionih sistema je da integriše širok spektar komunikacionih usluga u šta spadaju različiti multimedijalni servisi, video i naravno prenos govora. Ovo podrazumeva tehnologiju koja omogućava velike protoke sa relativno malom verovatnoćom greške. Ćelijski sistemi treće generacije ili 3G sistemi, koji koriste tehniku višestrukog pristupa sa kodnom raspodelom – DS-CDMA (Direct Spreading - Code Division Multiplex Access), ispunjavaju navedene zahteve.

U Evropi je nastao sistem WCDMA (Wideband CDMA) nadograđen na postojeću mrežu druge generacije (GSM). Severnoamerička verzija 3G sistema se naziva CDMA2000 i nastala je od IS-95 širokopolasnog sistema druge generacije. U ovom radu se koristi MC (Multi Carrier) verzija CDMA2000 tj. podrazumeva se da sistem radi sa tri nosioca tako da širina signala bude jednaka onoj u slučaju WCDMA. Za razliku od ova dva mobilna komunikaciona sistema koja koriste samo kodni višestruki pristup u Kini je razvijen sistem koji kombinuje kodni sa vremenskim višestrukim pristupom ( TDMA – Time Division Multiple Access) i na taj način je dobijen hibridni TD-CDMA sistem, koji kako će biti pokazano, ima superiorne karakteristike na nivou radio-interfejsa.

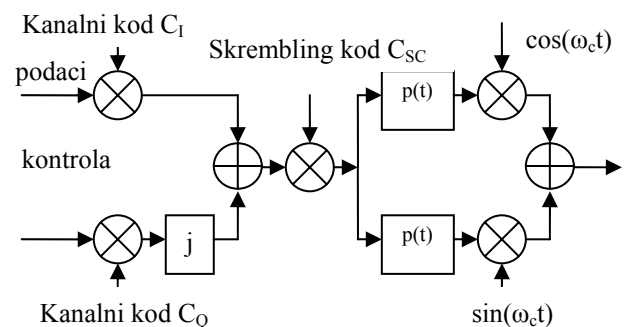
U nastavku je opisan korišćeni simulator, koji se uz male izmene može upotrebiti za sva tri vodeća sistema 3G. Zatim su prikazani rezultati simulacija verovatnoće greške po bitu za različite odnose signala i šuma za nekodovan sistem. Na kraju je dat zaključak.

### 2. OPIS SIMULATORA

Simulator koristi Bernulijev generator slučajnog niza bitova kao izvor podataka. Ovi ulazni podaci se prenose po frejmovima, tj. osnovnim vremenskim intervalima (TTI-Transmission Time Interval) od 10ms kroz vremenski promenljiv radio kanal sa višestrukim prostiranjem. Na radio-signal na prijemu utiču aditivni beli gausov šum (AWGN-Additive White Gaussian Noise) kao i interferencija višestrukog pristupa (MAI-Multiple Access Interference) koja, s obzirom da korisnici nisu vremenski sinhronizovani, na signal deluje kao AWGN, kako je pokazano u [2]. U simulaciji je korišćen RAKE prijemnik koji poznaje fazne promene, kašnjenje i slabljenje svake putanje.

Na uplinku je primenjena BPSK modulacija u osnovnom opsegu. Smatramo da svaki korisnik poseduje dva kanala i to:

jedan za prenos podataka i drugi koji je kontrolni. Brzina generisanja bitova je *bitrate*. Kanal podataka se prenosi I-granom, a kontrolni kanal Q-granom. Širenje signala i modulacija predstavljaju dvo-kanalnu QPSK modulaciju. Samo širenje signala se sastoji iz dve faze: najpre se I i Q grana množe sa dva različita OVFS (Orthogonal Variable Spreading Factor) koda istog faktora širenja (*SF*-Spreading Factor) i ovo predstavlja frekvencijsko širenje signala. Ovi kodovi se nazivaju kanalnim kodovima zato što razdvajaju kanale istog korisnika. U drugoj fazi signal se množi kompleksnim dugačkim skrembling (scrambling) kodom. Sam postupak se naziva višestruko širenje signala gde su OVFS kodovi potpuno ortogonalni i služe za razdvajanje kanala istog korisnika, a skrembling kodovi su dugački, poseduju određeni stepen kroskorelacije, brojni su i služe za razdvajanje signala različitih korisnika. Svaki informacioni bit se sada sastoji od *SF* podimpulsa koji se nazivaju čipovi. U ovom simulatoru su upotrebljeni Gold-ovi kodovi dužine registra 18 i brzine generisanja čipova, *chiprate*. Nakon toga primenjuje se talasno oblikovanje signala prilagođenim filterom roll-off faktora 0.22 i propusnim opsegom *chiprate*. Snaga signala na izlazu predajnika se zatim postavlja na 1W.



Sl.1 Blok šema predajnika

Modulacija I i Q grane kosinusnim i sinusnim signalom respektivno, nije primenjena radi uštede u vremenu simulacije.

Vremenski promenljiv kanal modeluje slučajnu varijaciju amplitude (fading) i faze željenog signala kao posledice prostiranja signala po više putanja između mobilnog korisnika i bazne stanice. Na fading dodatno utiče i doplerovo širenje frekvencije signala koje nastaje kao posledica kretanja korisnika pod određenim uglom u odnosu na direktnu putanju signala što je pokazano u [1]. Nije uzeta u obzir spora komponenta fedinga koja nastaje kao uticaj reljefa okoline.

Ukoliko je signal mobilnog korisnika na ulazu vremenski promenljivog signala fazno modulisan, onda se može napisati u sledećem obliku:

$$s(t) = Ae^{j(\omega t + \psi_s(t))}, \quad (1)$$

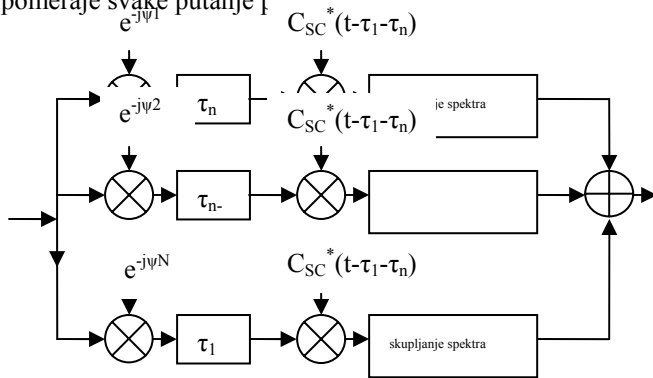
$$\omega = 2\pi(f_t - \frac{V}{\lambda} \cos \theta), \quad (2)$$

gde je  $A$  konstanta i  $\psi_s(t)$  informacija,  $f_t$  frekvencija nosioca, a drugi sabirak u zagradi kod (2) predstavlja doplerovo širenje signala ( $V$  - brzina kretanja mobilnog korisnika,  $\lambda$  - talasna dužina signala nosioca i  $\theta$  ugao u odnosu na direktnu putanju). U [1] je pokazano da signal na izlazu iz vremenski promenljivog kanala ima sledeći oblik:

$$s_o(t) = Ar(t)e^{j(\omega t + \psi_s(t) + \psi_r(t))}, \quad (3)$$

gde  $r(t)$  predstavlja uticaj fedinga a  $\psi_r(t)$  predstavlja slučajni dodatak željenoj fazi. U simulatoru je svaka putanja pomnožena sa nezavisnim talasnim formama koje imaju Rejljevju (Rayleigh) raspodelu amplitude i uniformnu raspodelu faze u intervalu  $[0, 2\pi]$ . Takođe, u svaku putanju je unet Doplerov fazni pomak. Simulator podrazumeva šest različitih putanja, a koeficijenti kašnjenja i slabljenja signala su uzeti za Indoor kanal. Koeficijenti slabljenja signala su skalirani tako da ukupna snaga svih putanja iznosi 1W.

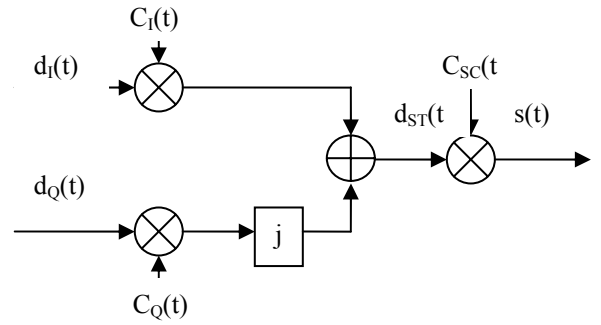
Na ulazu u prijemnik bazne stanice na signal posmatranog korisnika deluju AWGN i MAI (korisnici koji u isto vreme rade u posmatranoj ćeliji). Interfereri poseduju identičan predajnik posmatranom korisniku, ali koriste različite pseudo-slučajne sekvence (PSS) u cilju smanjivanja kros-korelacije i njihovi signali prolaze kroz sopstvene vremenski promenljive kanale pre nego što dospeju na ulaz prijemnika bazne stanice. Na ulazu prijemnika se nalazi filter prilagođen predajnom filteru, koji maksimizuje odnos signal/interferencija. Iza filtera je primenjen RAKE prijemnik koji razdvaja svaku putanju signala ponaosob, zatim ih kombinuje i dobija signal maksimalno sličan onom na predaji. Da bi vršio ovu funkciju RAKE prijemnik mora u potpunosti da poznaje uslove koji vladaju u kanalu, tj. mora da poznaje vremensko kašnjenje, slabljenje snage i fazne pomeraje svake putanje i



Sl.2. Blok šema RAKE prijemnika.

Kada izvrši ispravljanje kompleksne faze i dovođenje svih putanja na istu vremenski referentnu tačku prijemnik množi svaku putanju sa konjugovano-kompleksnom verzijom skrembling koda. Nakon toga razdvaja realne ( I ) i imaginarne ( Q ) grane i množi ih svojim OVFSF kodovima. Posle sabiranja svih realnih i svih imaginarnih grana dolazi do sakupljanja čipova koji čine informacione bite i donošenja odluke o vrednosti bita. Sledi demodulacija BPSK signala u osnovnom opsegu čime se završava uloga prijemnika i vrši se poređenje predajnog i prijemnog signala. Naravno, podrazumeva se da su slučajne sekvence na prijemu i na predaji idealno sinhronizovane ( do nivoa čipa). U izloženom simulatoru nije primenjeno kodovanje izvora i kanala.

## 2.2 Model signala (Analitički opis)



Sl.3. Signali u različitim tačkama predajnika

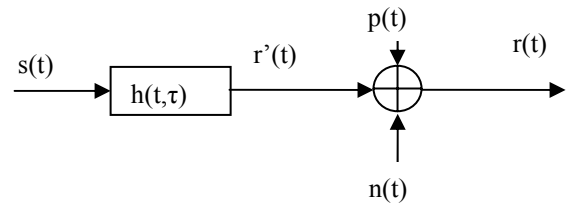
Podatke u I grani predstavlja signal  $d_I(t)$ , dok su podaci u Q grani predstavljeni signalom  $d_Q(t)$ . Signal proširenog spektra iznosi:

$$d_s(t) = d_I(t)c_I(t) + d_Q(t)c_Q(t) \quad (4)$$

gde su  $C_I$  i  $C_Q$  OVFSF kodovi za I i Q grane respektivno. Predajni signal je prikazan sledećim izrazom:

$$s(t) = d_s(t)C_{SC}(t), \quad (5)$$

gde je  $C_{SC}(t)$  kompleksni uplink skrembling kod.



Sl.4. Prenos signala kroz kanal

U ovom slučaju  $h(t, \tau)$  predstavlja kompleksni odziv kanala,  $n(t)$  je kompleksni Gausov šum,  $p(t)$  je interferencija višestrukog pristupa a  $r(t)$  je signal na ulazu prijemnika. Izrazi za  $r'(t)$  i  $p(t)$  su dati ispod

$$r'(t) = \sum_{i=1}^N h_i(t, \tau_i) s(t - \tau_i) \quad (6)$$

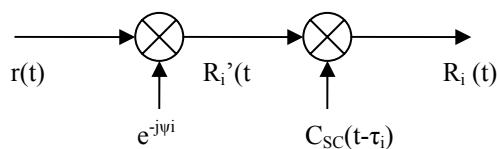
$$p(t) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N h_{ji}(t, \tau_i) s_{ji}(t - \tau_i) \quad (7)$$

gde je  $M$  broj interferera,  $N$  broj putanja a  $\tau_i$  kašnjenje  $i$ -te putanje. Takođe važi,

$$h_i(t, \tau_i) = |h_i(t, \tau_i)| e^{j\phi_i(t, \tau_i)}, \quad (8)$$

što predstavlja amplitudski i fazni odziv  $i$ -te putanje. Dakle, prijemni signal ima sledeći oblik:

$$r(t) = r'(t) + n(t) + p(t) \quad (9)$$



Sl.5. *i*-ta grana RAKE prijemnika

$$R_i'(t) = r'(t)e^{-j\phi_i(t)} + n(t)e^{-j\phi_i(t)} + p(t)e^{-j\phi_i(t)} \quad (10)$$

prvi član može da se napiše u sledećem obliku:

$$\sum_{l=1}^N |h_l(t-\tau_l)| s(t-\tau_l) e^{j\phi_l(t)} e^{-j\phi_i(t)} =$$

$$h_i(t-\tau_i) s(t-\tau_i) + \sum_{l=1, l \neq i}^N h_l(t-\tau_l) s(t-\tau_l) e^{j\phi_l(t)} e^{-j\phi_i(t)}$$

, gde je prvi član željeni signal ( nazvaćemo ga  $m_l(t)$  ), a drugi član predstavlja interferenciju signala iz ostalih putanja  $I'(t)$ . Sada se može reći da ukupnu smetnju željenom signalu predstavljaju interferencija ostalih putanja  $I(t)$ , gausov šum  $n(t)$  i interferencija višestrukog pristupa  $p(t)$  pa važi:

$$R_i'(t) = m_i'(t) + I_i'(t) + n_i'(t) + p_i'(t). \quad (11)$$

U sledećem koraku signal se množi sa konjugovano-kompleksnom verzijom skrembling koda:

$$R_i(t) = R_i'(t)C_{sc}^*(t) = m_i'(t)C_{sc}^*(t-\tau_i) +$$

$$+ I_i'(t)C_{sc}^*(t-\tau_i) + n_i'(t)C_{sc}^*(t-\tau_i) + p_i'(t)C_{sc}^*(t-\tau_i)$$

Prvi sabirak je korisni signal i možemo ga napisati:

$$m_i(t) = m_i'(t)C_{sc}^*(t-\tau_i) =$$

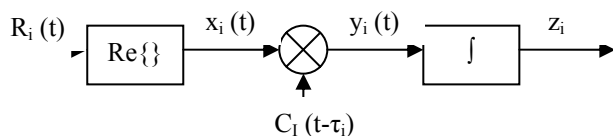
$$= |h_i(t-\tau_i)| d_s(t-\tau_i) C_{sc}^*(t-\tau_i) =$$

$$= |h_i(t-\tau_i)| d_s(t-\tau_i)$$

Sada važi,

$$R_i(t) = m_i(t) + I_i(t) + n_i(t) + p_i(t). \quad (12)$$

napokon dolazi proces skupljanja spektra i odlučivanja o poslatom bitu:



Sl.6. Blok za skupljanje spektra i donošenje odluke.

$$x_i(t) = \text{Re}\{R_i(t)\} =$$

$$\text{Re}\{m_i(t)\} + \text{Re}\{I_i(t)\} + \text{Re}\{n_i(t)\} + \text{Re}\{p_i(t)\}$$

Nadalje sledi,

$$y_i(t) = x_i(t)C_i(t-\tau_i) =$$

$$|h_i(t-\tau_i)| d_i(t-\tau_i) + \text{Re}\{I_i(t) + n_i(t) + p_i(t)\}C_i(t-\tau_i)$$

i na kraju donošenje odluke:

$$z_i = \int_{\tau_i}^{T+\tau_i} y_i(t) dt \quad (13)$$

, gde je  $T$  trajanje informacionog bita. Ukoliko podrazumevamo da je amplitudski odziv kanala konstantan za vreme trajanja informacionog bita onda važi:

$$z_i = T|h_i|K + \int_{\tau_i}^{T+\tau_i} [\text{Re}\{I_i(t) + n_i(t) + p_i(t)\}C_i(t-\tau_i)] dt$$

, gde  $K$  može uzeti vrednost  $\pm 1$ . Drugi sabirak predstavlja ukupnu vrednost interferencije, koju čine već navedeni faktori, prilikom donošenja odluke.

### 3. PRIMENA SIMULATORA NA POSTOJEĆE 3G SISTEME

Opisani simulator može se direktno primeniti na WCDMA sisteme. Posmatračemo signal protoka  $bitrate=120kbit/s$  u kombinaciji sa širokopojasnim kodovima brzine protoka  $chiprate=3.84Mbit/s$ . Naravno, podrazumeva se  $SF=32$ .

Za primenu na CDMA2000 potrebno je u predajniku postojeći signal širine 3.84MHz "rastaviti" na tri dela i prenositi ga pomoću tri nosioca. Dakle, sada chip rate ne iznosi 3.84MHz već tri puta po 1.28MHz. Ovo podrazumeva adekvatne promene u prijemniku, gde sada svaki nosilac poseduje svoj sopstveni RAKE prijemnik. Nakon obrade svakog od tri signala posebno, u prijemniku dolazi do ponovnog "sastavljanja" signala i upoređivanja sa originalnim signalom.

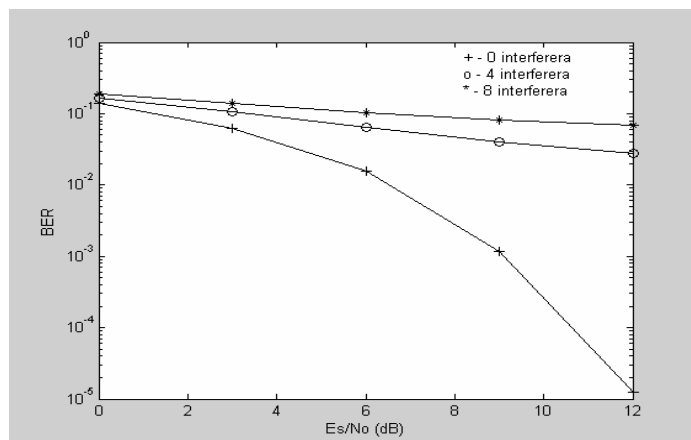
Primena simulatora u TD-CDMA sistemima zahteva prilagođavanje formata prenosa u osnovnom intervalu od 10ms. Naime dok je ovaj interval kod prethodne dve tehnologije u potpunosti zauzet informacionim bitima ( čipovima) kod TD-CDMA on je izdvojen na sedam (u simulatoru na osam iz razloga manje komplikovanosti) vremenskih slotova kako je pokazano u [3]. Sistem sada zauzima određen broj slotova (može sve ili samo jedan) ali srazmerno tome menja se i procesno pojačanje signala. Ukoliko zauzme samo jedan slot procesno pojačanje će se smanjiti osam puta, za dva slotova četiri puta itd. Drugim rečima, ona količina bita koja bi trebala da bude smeštena u TTI interval od 10 ms u ovom slušaju se smešta u manji vremenski interval a to se plaća smanjenjem procesnog pojačanja. TD-CDMA može takođe da radi u modu sa tri nosioca i u tom slučaju broj zauzetih slotova može biti različit kod svakog nosioca. Simulator je podešen tako da prvi nosilac zauzima samo prvi slot, drugi nosilac prva dva slotova a treći nosilac prva četiri slotova TTI.

Pretpostavka je da interferereri kod sva tri sistema rade u istom modu kao i željeni korisnik. Oni koriste različite OVFS i Gold-ove kodove, njihovi signali se uobličavaju istim prilagođenim filterom i prolaze kroz svoje vremenski promenljive kanale pre nego što se na ulazu prijemnika dodaju željenom signalu. Interferirajući signali TD-CDMA korisnika rade u istim vremenskim slotovima po nosiocima kao i željeni korisnik.

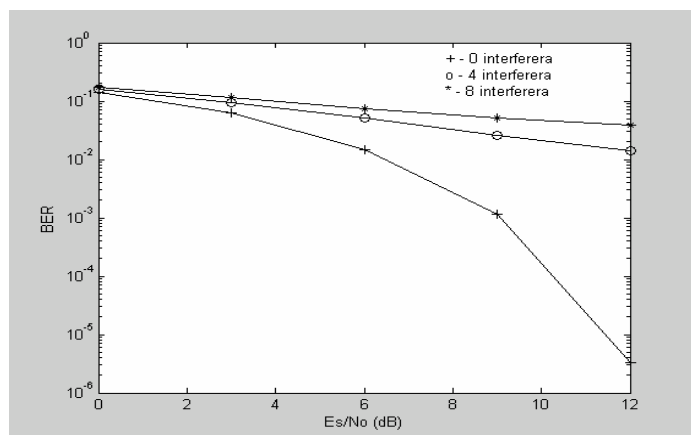
Prilikom izvođenja simulacija na nižim  $E_s/N_0$  ( $E_s$  – energija bita,  $N_0$  – spektralna gustina snage AWGN) uzeto je u obzir prvih 100 frejmova dok je na višim  $E_s/N_0$  uzeto u obzir prvih 400 frejmova.

#### 4. REZULTATI SIMULACIJA I ZAKLJUČAK

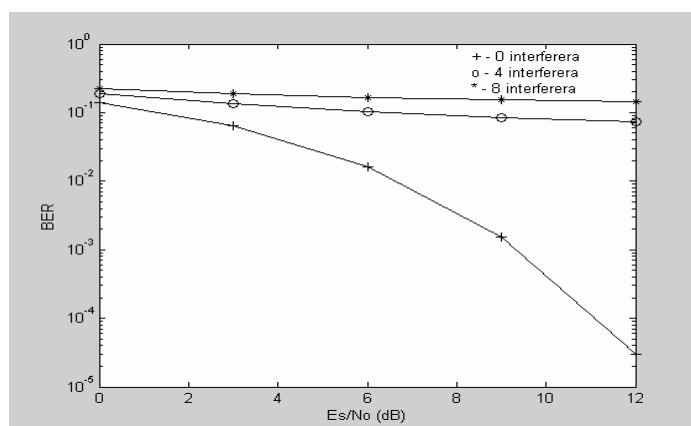
Sledeća tri grafika predstavljaju BER za nekodovani prenos u odnosu na  $E_s/N_0$ . Vrednosti  $E_s/N_0$  su od 0 dB do 12 dB za slučajeve 0, 4 i 8 interferirajućih signala:



Sl.7. BER u nekodovanom WCDMA sistemu.



Sl.8. BER u nekodovanom CDMA2000 sistemu



Sl.9. BER u nekodovanom TD-CDMA sistemu

Očigledno je da WCDMA i CDMA2000 imaju približno iste karakteristike BER dok TD-CDMA ima lošiju karakteristiku od WCDMA za 7.1 dB a od CDMA2000 za 4.3dB u situaciji kad MAI čine 4 interferirajuća signala, dok u slučaju 8 interferirajućih signala ova karakteristika je lošija od WCDMA za 5.7dB a od CDMA2000 za 3dB. Ova analiza se odnosi na slučaj  $E_s/N_0=12$  dB.

Ukoliko uzmemo u obzir da je kod TD-CDMA od ukupno 24 slota zauzeto samo 7, što znači da je nešto manje od 3/4 kapaciteta ostalo neiskorišćeno, a pritom je BER neznatno ugrožen vidimo kolika je potencijalna prednost ove tehnologije u odnosu na prethodne dve kad je u pitanju iskorišćenost frekvencijskog spektra.

BER kod TD-CDMA je moguće dodatno popraviti ukoliko se dopusti da predajnik slučajno odlučuje koliko će slotova zauzeti i da slučajno određuje koji će to slotovi biti. Ovakav pristup, naravno, usložnjava strukturu primopredajnika a dalja istraživanja treba usmeriti u ovom pravcu.

#### LITERATURA:

- [1] William C.Y.Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", John Wiley & Sons, inc, november 1992
- [2] M.K. Simon, J.K. Omura, R.A. Scholtz, B.K.Levitt, "Spread Spectrum Communications Handbook", McGraw-Hill, Inc, 1994
- [3] Siemens AG, "TD-SCDMA: the Solution for TDD bands", White Paper, april 2002, [www.siemens-mobile.com](http://www.siemens-mobile.com)

**Abstract** –In the paper is described radio interface level simulator of 3G uplink system. We give basic differences among three central 3G technologies in physical layer (modulation and spreading). Results of simulation of uplink scenario within one cell are shown and discussed.

#### SIMULATOR OF CENTRAL 3G TEHNOLOGIES

#### ON RADIO-INTERFACE LEVEL

Vladica Kovačević, Dušan Radović